

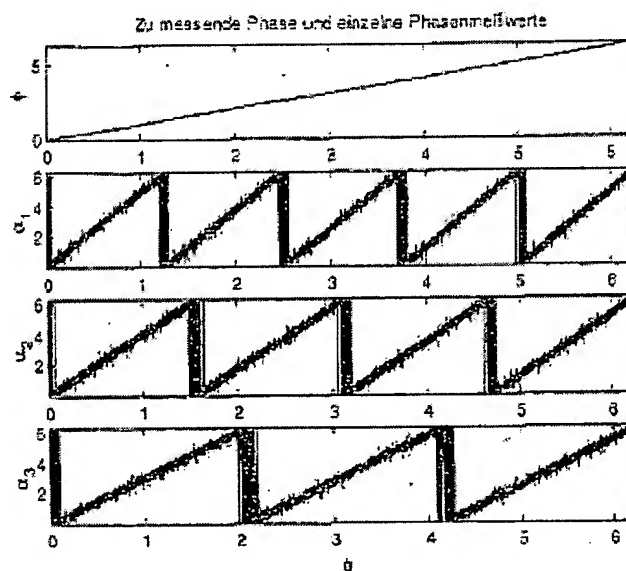
Determining rotation angle/distance from phase values involves linear transformation, quantization, linear conversion, adding weighted phase values, correcting and summing

Patent number: DE10142449
Publication date: 2002-03-14
Inventor: STEINLECHNER SIEGBERT (DE); WENZLER AXEL (DE)
Applicant: BOSCH GMBH ROBERT (DE)
Classification:
- **international:** G01B21/22; G01B11/26; G01D5/243
- **european:** G01D5/245B1; G01S17/36
Application number: DE20011042449 20010831
Priority number(s): DE20011042449 20010831; DE20001042660 20000831

Report a data error here

Abstract of DE10142449

The method involves evaluating N phase measurement values from a sensor by transforming the values into an N-1 dimensional space by linear transformation, transforming the transformed signal into N-1 integer values in a quantizer, converting them into N real values with a linear function, adding weighted phase measurement values to produce N angle estimates, correcting these for discontinuities and summing taking into account their phase angles.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 101 42 449 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁷:
G 01 B 21/22
G 01 B 11/26
G 01 D 5/243

⑦1 Aktenzeichen: 101 42 449.3
⑦2 Anmeldetag: 31. 8. 2001
④3 Offenlegungstag: 14. 3. 2002

DE 101 42 449 A 1

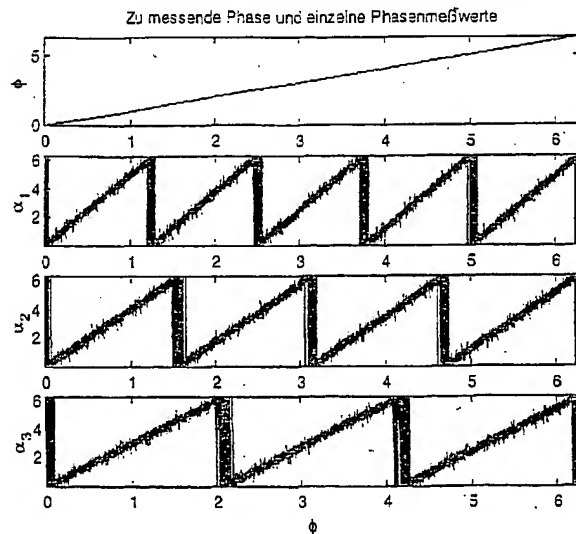
⑥6 Innere Priorität:
100 42 660. 3 31. 08. 2000
⑦1 Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:
Steinlechner, Siegbert, 71229 Leonberg, DE;
Wenzler, Axel, Dr., 70569 Stuttgart, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Verfahren zur Bestimmung eines Drehwinkels oder Abstandes durch Auswertung von Phasenmesswerten

⑤7 Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Bestimmung eines Drehwinkels oder Abstandes durch Auswertung von einer Vielzahl von Phasenmesswerten vorgeschlagen. Dabei werden die in einem N-dimensionalen Raum gemessenen Phasenwerte mittels einer linearen Transformation A in N-1 neue Signale S_i abgebildet. Diese Signale S_i werden mit einer Quantisierungseinrichtung in entsprechende ganzzahlige Werte W_i transformiert und mittels einer linearen Abbildung C in N-reelle Werte Z_i umgeformt. Zu diesen Werten werden gewichtete Phasenmesswerte α_i modulo 2π addiert, wodurch man N-Schätzwerte für den zu messenden Winkel ϕ erhält. Die N-Schätzwerte werden ggf. an ihren Sprungstellen korrigiert und unter Berücksichtigung ihres Phasenwinkels gewichtet aufsummiert.



DE 101 42 449 A 1

Stand der Technik

[0001] Bei einigen technischen Messaufgaben entstehen mehrere Phasennesswerte, aus denen die zu messende Größe, wie z. B. ein Winkel oder der Abstand zu einem Ziel, zu bestimmen ist.

[0002] Beispiele hierzu sind:

- Entfernungsmessung mit RADAR oder mit moduliertem Laserlicht. Es werden N Messungen mit verschiedenen Frequenzen $f_1 \dots f_N$ durchgeführt. Die vom Ziel im Abstand x reflektierten Signale besitzen am Empfängerort die Phasenverschiebungen (c = Lichtgeschwindigkeit):

$$\alpha_i = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_i \cdot 2 \cdot x}{c}$$

Die Phasenverschiebungen sind also der zu messenden Größe und der benutzten Frequenz proportional. Jedoch liegen die tatsächlichen Messwerte der Phasen immer im Bereich 0 bis 2π , sind also immer nur bis auf ganzzahlige Vielfache von 2π bestimmt.

- optischer Winkelgeber: Abtastung von N optischen Strichgittern. Auf einer Scheibe oder einem Zylinder sind N Spuren mit optischen Strichgittern aufgebracht. Auf eine Umdrehung kommen dabei jeweils n_i Perioden bzw. Striche. Mißt man die Phasenlagen der Spuren mit Hilfe optoelektronischer Detektoren relativ zu einem feststehenden Messfenster, erhält man die Phasenlagen:

$$\alpha_i = n_i \cdot \phi$$

Die Phasen sind also dem Verdrehwinkel ϕ und den Periodenzahlen n_i proportional. Auch hier liegen die tatsächlichen Meßwerte der Phasen immer im Bereich 0 bis 2π .

[0003] Zur Auswertung solcher Signale, also der Bestimmung x bzw. ϕ sind folgende Methoden bekannt:

- klassisches Noniusverfahren:

Aus je 2 Meßwinkeln wird die Differenz gebildet; falls sie kleiner 0 ist, wird 2π addiert. Dieses Verfahren hat starke Einschränkungen: Meßfehler in den Winkeln schlagen voll auf das Endergebnis durch, außerdem funktioniert das Verfahren nur, wenn die beiden betrachteten Periodenzahlen sich um genau 1 unterscheiden.

- modifiziertes Noniusverfahren (siehe DE P 195 06 938):

Aus je 2 Meßwinkeln wird durch gewichtete Addition und die weitere Addition einer winkelbereichsabhängigen Konstanten der Wert der zu messenden Größe bestimmt. Der Vorteil liegt darin, dass Meßfehler in den Winkeln um einen Faktor <1 reduziert werden.

- kaskadiertes, modifiziertes Noniusverfahren: Das modifizierte Noniusverfahren wird für mehrere Spuren in einer hierarchischen Anordnung mehrfach angewandt.

[0004] Die Aufgabe der Erfindung ist die Gewinnung eines optimalen, eindeutigen Phasennesswerts aus N mehrdeutigen, gestörten Phasensignalen α_i , wobei die Nachteile der bekannten Methoden umgangen werden.

[0005] Mögliche Einsatzbereiche sind Aufgaben, bei denen aus mehreren Phasensignalen ein hochgenauer und robuster Meßwert ermittelt werden muß, wie z. B.:

- die Mehrfrequenz-Entfernungsmessung
- die Winkelmessung
- die kombinierte Winkel- und Drehmomentmessung

unter Einsatz von RADAR, Laser, optischen, magnetischen oder sonstigen Sensorprinzipien.

Vorteile der Erfindung

[0006] Die Erfindung ermöglicht die direkte, optimale, nichthierarchische Auswertung von N Phasensignalen.

[0007] Es können dabei im Gegensatz zu den bekannten Verfahren nahezu beliebige Periodenzahlen n_i eingesetzt werden. Meßfehler in den einzelnen Phasensignalen werden deutlich reduziert. Durch Hinzunahme weiterer Phasenspurten kann eine deutlich erhöhte Toleranz gegen Meßfehler erreicht werden.

[0008] Die Erfindung ist insbesondere dazu geeignet, die Signale eines optischen TAS (Torque-Angle-Sensor) optimal auszuwerten.

Detaillierte Beschreibung

[0009] Fig. 7 zeigt das Blockschaltbild, Fig. 8 ein Detail der Erfindung.

[0010] Ein Sensor (Fig. 7, z. B. optischer Winkelsensor mit N Spuren) liefert die N gemessenen Winkelwerte α_i , $i=1 \dots N$. Wenn der zu bestimmende mechanische Verdrehwinkel eine Umdrehung (2π) überstreicht, überstreichen die Phasenwinkel $\alpha_i \cdot n_1 \dots n_N$ mal den Meßbereich 2π . Die Werte $n_1 \dots n_N$ sind die Periodenzahlen der einzelnen Spuren.

[0011] Die im Regelfall digital vorliegenden Winkelwerte werden zunächst einer einfachen linearen Transformation A unterworfen. Diese bildet aus den N Winkelwerten N-1 neue Signale S_i so, dass ideale Winkelwerte in ein ganzzahliges, (N-1)-dimensionales Raster abgebildet werden. Beispielsweise kann die Transformation folgendermaßen ausgeführt werden:

$$S_i = \frac{\alpha_{i+1} \cdot n_i - \alpha_i \cdot n_{i+1}}{2 \cdot \pi \cdot \text{ggT}(n_i, n_{i+1})}$$

[0012] Hierbei ist ggT der größte gemeinsame Teiler der entsprechenden Zahlen.

[0013] Falls Meßfehler in den Winkelwerten auftreten, führt dies dazu, dass die Signale S_i nicht exakt auf, sondern nur in der Nähe des ganzzahligen Rasters liegen. Mit Hilfe einer Quantisierungseinrichtung werden die Signale S_i auf die ganzzahligen Werte W_i , die auf dem erwähnten Raster liegen, abgebildet und dadurch die Effekte der Meßfehler eliminiert.

[0014] Anschließend werden die (N-1) Werte W_i einer einfachen linearen Abbildung C unterworfen, die N reelle Werte Z_i liefert. Diese Werte Z_i sind der Anzahl der durchlaufenen Perioden des entsprechenden Winkelwerts α_i proportional.

[0015] Zu diesen Werten Z_i werden die gewichteten Winkelwerte α_i addiert. Diese Addition erfolgt modulo 2π . Die Gewichtungsfaktoren und die erwähnte lineare Abbildung C werden so gewählt, dass man nach der Addition N Schätzwerte für den zu messenden Winkel ϕ erhält.

[0016] Nun werden diese Schätzwerte gewichtet aufsummiert. In manchen Fällen ist hierbei eine Korrektur vorzunehmen, da Winkelwerte in der Nähe von 0 und in der Nähe von 2π als benachbart gelten müssen.

[0017] Beispiel: 2 Werte von 0.01π und 1.97π sind mit den Gewichten von je 0.5 zu addieren.

$$(0.01\pi + 2\pi)/2 + 1.97\pi = 1.99\pi$$

d. h. zu einem Wert wird 2π addiert, um ihn in die Nähe des anderen zu bringen.

[0018] Schließlich steht der optimale Meßwert ϕ_{mess} zur Verfügung.

[0019] Fig. 8 zeigt das Blockschaltbild der oben genannten Quantisierungseinrichtung.

[0020] Die Signale S_i liegen, wie erwähnt, in der Nähe eines ganzzahligen Rasters. Häufig werden, abhängig von den Periodenzahlen und von den Transformationen, jedoch nur ganz bestimmte Positionen des ganzzahligen Rasters belegt. Eine direkte Rundung der Werte S_i würde häufig zu falschen Ergebnissen führen, da die Rundung auch auf Rasterpunkte führt, die nicht erlaubt sind. Aus diesem Grund werden die Werte S_i durch eine einfache Transformation B in die Werte T_i überführt, wobei die Werte T_i ebenfalls in der Nähe ganzzahliger Rasterpunkte liegen, jedoch mit dem Unterschied, dass alle ganzzahligen Rasterpositionen erlaubt sind.

[0021] Eine Rundung der Werte T_i führt diese in die N-1 ganzzahligen Werte U_i über, die die Zugehörigkeit eines Meßpunktes zu einem Rasterpunkt beschreiben.

[0022] Es kann jedoch weiterhin vorkommen, dass die jeweilige Rundung der T_i auf einen Wert U_i führt, der um 1 zu groß oder zu klein ist. Deshalb wird zunächst die Differenz $T_i - U_i$ ($i = 1 \dots N-1$) gebildet, die den Abstand des Meßpunktes zu dem gerundeten Rasterpunkt in der Richtung i beschreibt. Diese Abstände werden in einer Bereichskorrektureinrichtung mit vorgegebenen Grenzen verglichen und dabei entschieden, ob der Meßwert einem Nachbarpunkt des Rasters zugeordnet werden muß. Dadurch entstehen N-1 Korrekturwerte, welche die Werte -1, 0 oder 1 annehmen können. Diese Korrekturwerte werden zu dem U_i addiert und ergeben die korrigierten Werte V_i .

[0023] Die korrigierten Werte werden nun durch einfache Transformation B^{-1} auf das ursprüngliche Raster, in dem die Werte S_i im Idealfall liegen, zurücktransformiert. B^{-1} ist die genaue Umkehrung der Transformation B.

Beispiel für N=3 Spuren

[0024] Die Periodenanzahlen sind $n_1 = 5$, $n_2 = 4$, $n_3 = 3$. Fig. 1 zeigt oben den zu bestimmenden Verlauf des mechanischen Winkels ϕ , unten den Verlauf der drei (mit Meßfehlern von $\pm 20^\circ$ behafteten) Phasenmeßwerte α_i .

[0025] Die Transformation A lautet in Matrixschreibweise:

$$B = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 2 & 2 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{bmatrix} = B \cdot \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \end{bmatrix}$$

[0026] Fig. 2 zeigt die Punkte S nach der Transformation.

[0027] Fig. 3 zeigt die in die T-Ebene abgebildeten Meßpunkte. Die notwendige Transformation B lautet in Matrixschreibweise:

$$B = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 2 & 2 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{bmatrix} = B \cdot \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \end{bmatrix}$$

[0028] Um die notwendige Bereichskorrektur zu erläutern, zeigt Fig. 4 die T-Ebene bei höheren Meßfehlern von $\pm 45^\circ$, $\pm 60^\circ$ und $\pm 45^\circ$.

[0029] Die nun folgende Rundung auf ganzzahlige Werte ergibt aufgrund der Kontur in manchen Fällen eine fehlerhafte Zuordnung. Fig. 5 zeigt die (T-U) Ebene mit einer Zoneneinteilung. In der mittleren Zone (3) war die Rundung erfolgreich, in den Zonen 1, 2, 4, 5 sind Korrekturen notwendig, die von der Bereichskorrektureinrichtung berechnet und anschließend zu den U-Werten addiert werden:

Zone	Aktion	
1	$V_1 = U_1$	$V_2 = U_2 + 1$
2	$V_1 = U_1 - 1$	$V_2 = U_2$
3	$V_1 = U_1$	$V_2 = U_2$
4	$V_1 = U_1$	$V_2 = U_2 - 1$
5	$V_1 = U_1 + 1$	$V_2 = U_2$

[0030] Die Zonen werden abhängig von den Periodenzahlen so gewählt, dass bis zu einem maximal zulässigen Meßfehler der Phasenwerte kein Rastersprung erfolgt.

[0031] Die nachfolgende Transformation B^{-1} hat die Form:

$$B^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1 & -2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \end{bmatrix} = B^{-1} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

[0032] Die lineare Abbildung C hat die Form:

$$C = 2 \cdot \pi \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 5 & 0 \\ 1 & 0 \\ 4 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \end{bmatrix} = C \cdot \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \end{bmatrix}$$

[0033] Nach der Gewichtung der Meßwerte α_i werden diese zu den Werten Z_i addiert. Die Addition erfolgt modulo 2π . Dabei entstehen die N Schätzwerte für den Winkel ϕ . Die Gewichte für die Winkelwerte $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ sind hierbei $1/5, 1/4$ und $1/3$.

[0034] Fig. 6 zeigt die 3 entstehenden Schätzwerte, darunter ist deren (korrigierter) Mittelwert dargestellt, der die Meßgröße repräsentiert.

Ausgestaltungen

- Werden die Winkelwerte binär auf 2π normiert dargestellt, sind alle erforderlichen Multiplikationen ganzzahlig oder rational ausführbar.
- Die Bereichskorrektur der Quantisierungseinrichtung kann durch Berechnung (Vergleich des Meßpunkts mit den Bereichsgrenzen) oder durch Tabellierung (z. B. ROM-Tabelle) erreicht werden.
- Das Verfahren ist besonders geeignet für TAS (Torque-Angle-Sensor).
- Bei geeigneter Wahl der Periodenzahlen sind auch Ausgangssignale erzielbar, die über eine Umdrehung mehr als eine Periode erzeugen.
- Die erforderlichen Transformationsmatrizen A, B, B^{-1} , C und die Bereichsgrenzen der Bereichskorrektur müssen nur einmalig beim Systementwurf bestimmt werden.
- Das Verfahren läßt sich auch auf andere Systeme übertragen, die entsprechende Ausgangssignale liefern, wie z. B. Lincargeber, Mehrfrequenz-Abstandsmeßsysteme.
- Die nacheinander auszuführenden Transformationen bzw. Abbildungen lassen sich vorteilhaft zusammenfassen, z. B. $(B * A)$, $(C * B^{-1})$, was den Aufwand reduziert.
- Im ausgeführten Beispiel dürfen die Meßfehler in den Meßsignalen $\alpha_1 \dots \alpha_3$ gleichzeitig bis zu $+45^\circ, +60^\circ, +45^\circ$ betragen. Bekannte Verfahren erreichen diese Fehlertoleranz bei weitem nicht.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung eines Drehwinkels oder Abstandes durch Auswertung von einer Vielzahl von Phasenmesswerten, die beim Abtasten eines Gebers von einem Sensor aufgenommen werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Phasenmesswerte in nachfolgenden Schritten ausgewertet werden:
Ein Sensor liefert N gemessene Phasenmesswerte $\alpha_i = \phi \cdot n_i$ jeweils im Bereich 0 bis 2π , wobei n_i die Anzahl

der Perioden ist,

die vorliegenden Phasenmesswerte α_i werden mittels einer linearen Transformation A in N-1 neue Signale S_i in einem N-1 dimensionalen Raum abgebildet, die N-1 abgebildeten Signale werden mit einer Quantisierungseinrichtung in N-1 ganzzahlige Werte W_i transformiert, die auf einem Raster liegen, die transformierten N-1 Werte W_i werden mittels einer linearen Abbildung C in N reelle Werte Z_i umgeformt, zu den N reellen Werten Z_i werden gewichtete Phasenmesswerte α_i modulo 2π addiert, wodurch man N Schätzwerte für den zu messenden Winkel ϕ erhält und die N Schätzwerte für den zu messenden Winkel werden ggf. an ihren Sprungstellen korrigiert und unter Berücksichtigung ihres Phasenwinkels gewichtet aufsummiert.

2. Verfahren zur Bestimmung eines Drehwinkels oder Abstandes durch Auswertung von einer Vielzahl von Phasenmesswerten, nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswertung nach dem klassischen Noniusverfahren oder einem modifizierten Noniusverfahren oder einem kaskadierten, modifizierten Noniusverfahren erfolgt.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

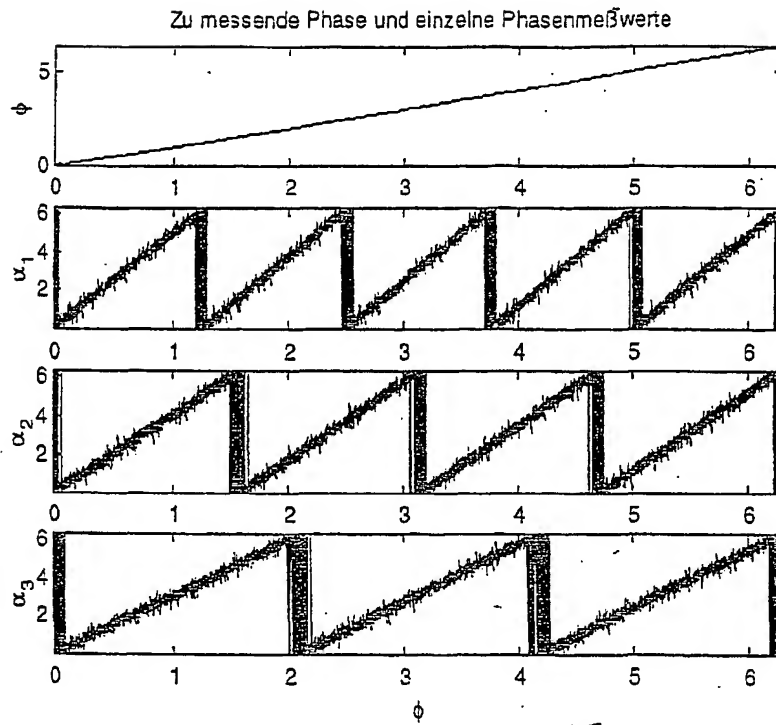


Fig. 1

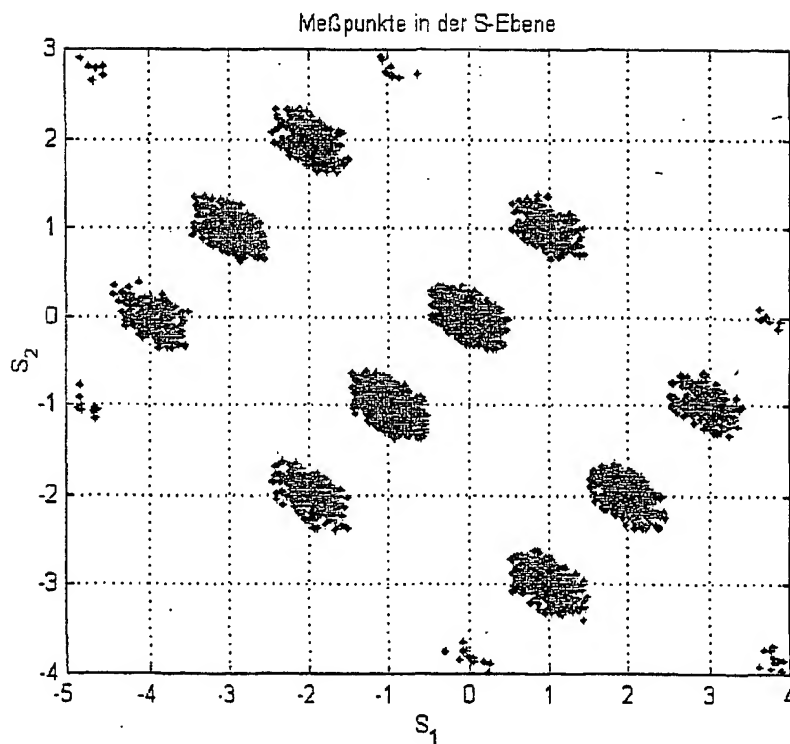


Fig. 2

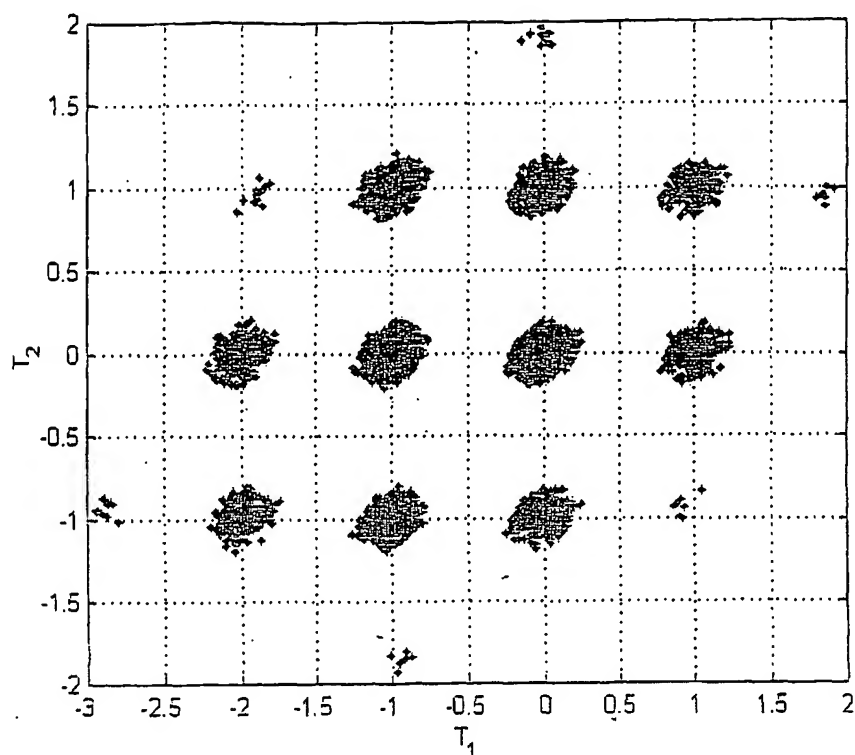


Fig. 3

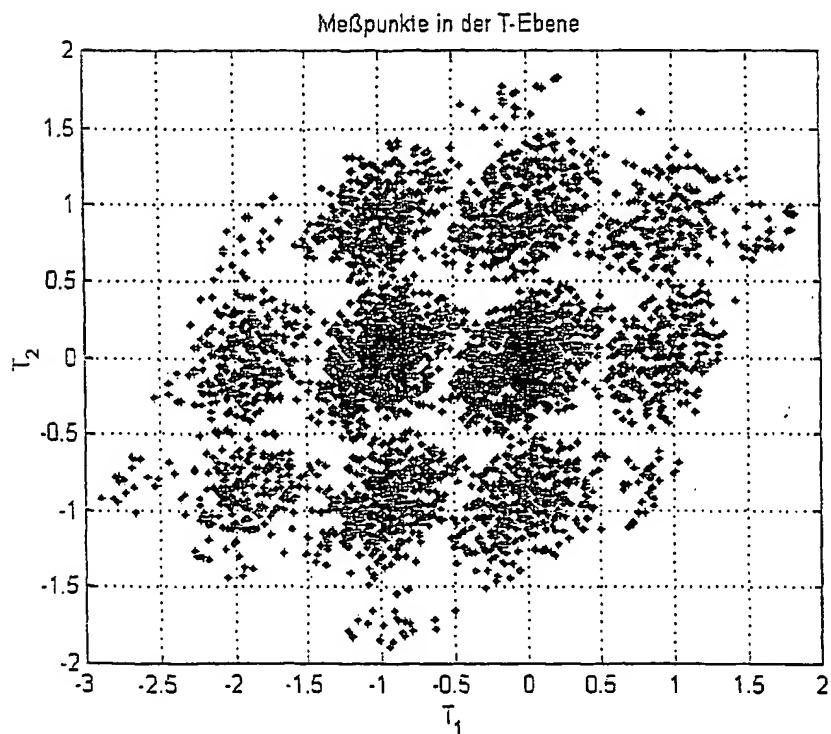


Fig. 4

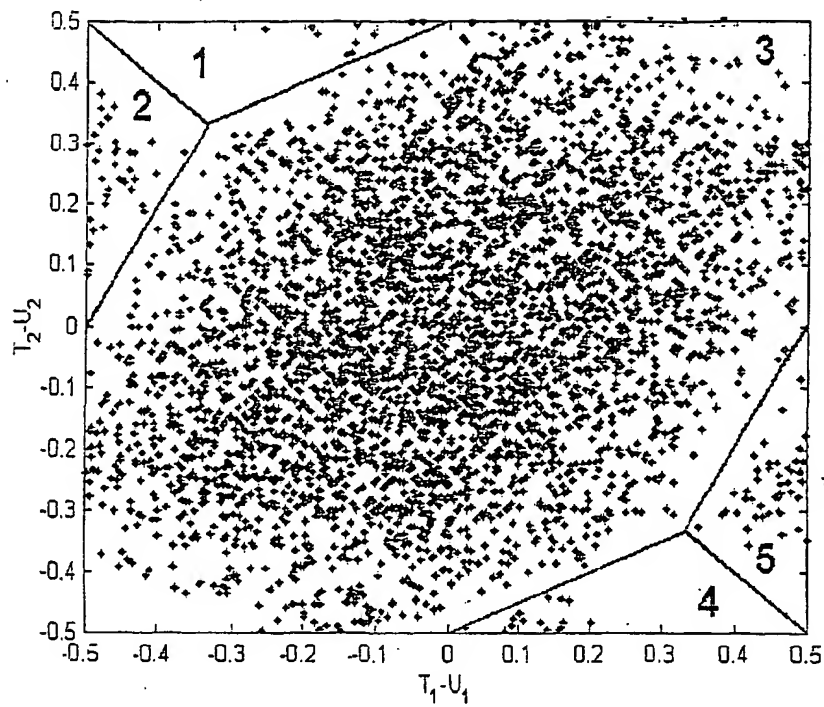


Fig. 5

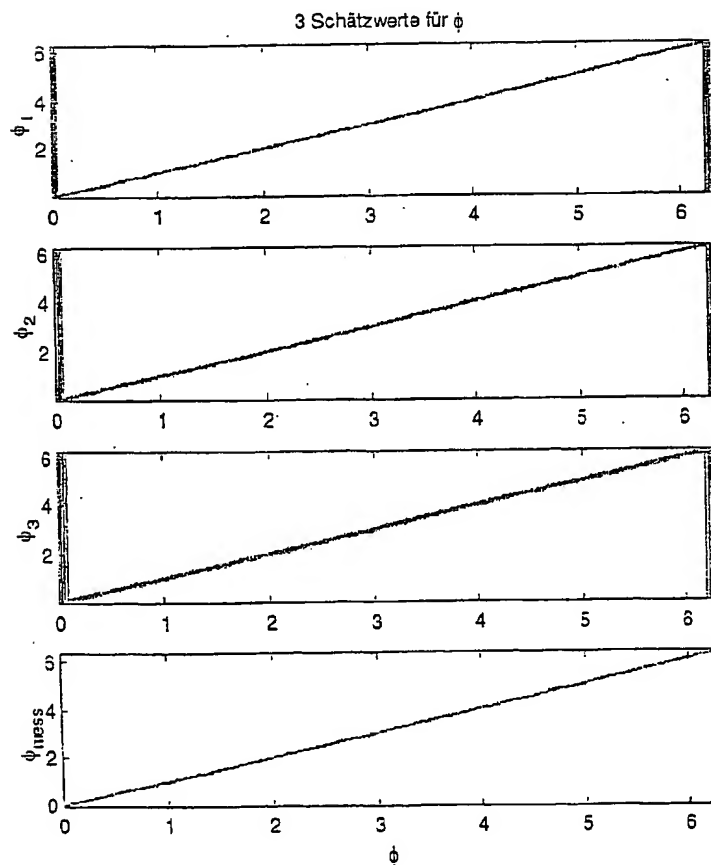


Fig. 6

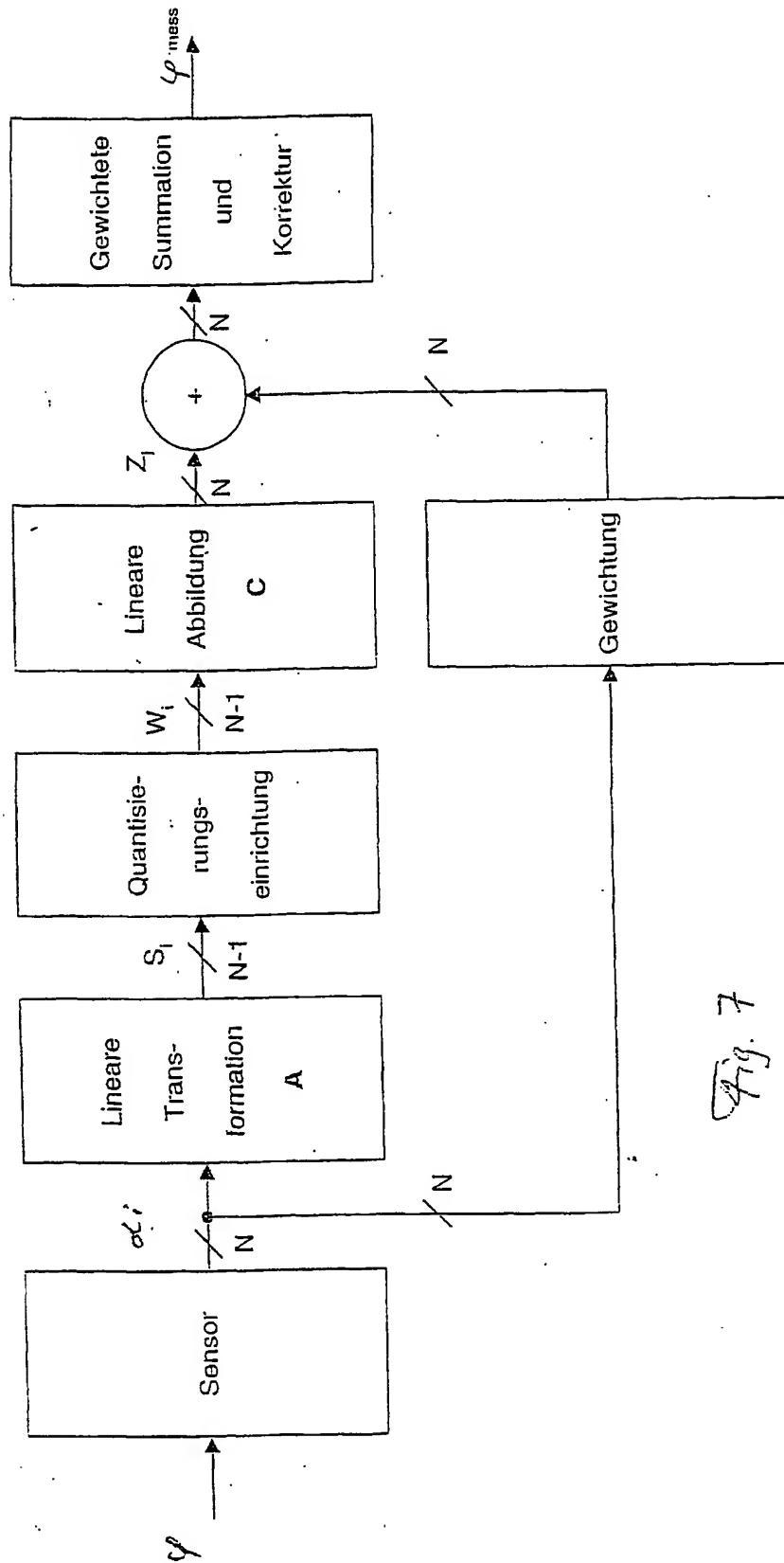


Fig. 7

